

ВЛИЯНИЕ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ РЕШЕТКИ НА ФОРМИРОВАНИЕ СВОЙСТВ ДЕФОРМИРОВАННЫХ ЦИРКОНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Тугбаев Ю.В.

Профессор, доктор технических наук Логинов Ю.Н.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.

Ельцина, г. Екатеринбург

chilly_willy1@mail.ru

j.n.loginov@urfu.ru

Сформулирован подход к анализу влияния пластической деформации на формирование свойств циркониевых сплавов на основе сравнения с аналогичным подходом, созданным для альфа-титановых сплавов.

Цирконий и его сплавы являются одними из основных конструкционных материалов, применяемых в атомной промышленности. Состояние его кристаллической решетки – гексагональная плотноупакованная – сказывается на потребительских свойствах и методах его обработки.

В атомной промышленности особенно востребованы трубы, как элементы теплопередачи, а основной заготовительной операцией является горячее прессование. Процесс горячего прессования может быть описан с позиции механики деформируемых сред, но с учетом особенностей реологических характеристик металла.

Как известно, металлы с ГПУ-решеткой подвержены в большой степени процессам текстурообразования, что приводит к анизотропии свойств [1]. Своеобразным аналогом циркония является титан и его сплавы в альфа-состоянии. Поэтому для этих двух материалов часто используют одинаковые приемы управления текстурой и анизотропией [2,3].

Учет анизотропии важен в двух аспектах: с позиции особенностей расчета процесса пластической деформации и с позиции формирования свойств изделия.

Для описания пластического течения анизотропного материала применение условия текучести Мизеса может привести к значительным ошибкам, поэтому часто используют условие текучести Хилла в виде:

$$H(S_{xx} - S_{yy})^2 + F(S_{yy} - S_{zz})^2 + G(S_{zz} - S_{xx})^2 + 2N \cdot S_{xy}^2 + 2L \cdot S_{yz}^2 + 2M \cdot S_{zx}^2 = 1, \quad (1)$$

где $S_{ij}(i, j = x, y, z)$ – компоненты девиатора напряжений, H, F, G, N, L, M – параметры анизотропии, которые можно определить по формулам:

$$H = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{\sigma_{Tx}^2} + \frac{1}{\sigma_{Ty}^2} - \frac{1}{\sigma_{Tz}^2} \right); G = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{\sigma_{Ty}^2} + \frac{1}{\sigma_{Tz}^2} - \frac{1}{\sigma_{Tx}^2} \right); F = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{\sigma_{Tz}^2} + \frac{1}{\sigma_{Tx}^2} - \frac{1}{\sigma_{Ty}^2} \right); \quad (2)$$

$$N = \frac{1}{2\tau_{Tx}^2}; L = \frac{1}{2\tau_{Ty}^2}; M = \frac{1}{2\tau_{Tz}^2}, \quad (3)$$

где $\sigma_{Ti} (i = x, y, z)$ и $\tau_{Tij} (i, j = x, y, z)$ – пределы текучести в ортогональных направлениях.

Преобразования этого условия для частных случаев деформации выполнено в публикациях [4,5] и результаты этих преобразований могут быть применены для анализа пластической деформации циркония.

Применение условия текучести Мизеса, а не Хилла, возможно как промежуточный этап описания процесса деформации, например, методом конечных элементов [6], что позволяет определить соотношения между компонентами тензора деформации, которые отвечают за создание анизотропии свойств[7].

При оценке степени анизотропии готового продукта в настоящее время применяются методы текстурного анализа, а применительно к металлам с ГПУ – решеткой, включая альфа-титан и цирконий, применяется параметр Кернса, который оценивает соотношение текстурных компонент. Усовершенствования в области измерений параметров анизотропии нашли отражение в работах [8,9].

Достижимый результат при управлении свойствами металла с ГПУ – решеткой заключается в создании новых объектов техники – способов обработки и улучшения потребительских свойств изделий [10-12].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. Ершов А.А., Логинов Ю.Н. Влияние кристаллической решетки циркония и его сплавов на особенности процессов их деформации. Доклады 18 международной конференции молодых ученых по приоритетным направлениям развития науки и техники. Екатеринбург: УрФУ, 2010. С.51-55.
2. Логинов Ю. Н., Смирнов В. Г., Котов В. В. Обоснование влияния анизотропии на разнотолщинность холоднокатаных труб из титанового сплава. Производство проката, 2008. №2. С.28-32.
3. Логинов Ю.Н., Котов В.В. Проявления анизотропии в процессах деформации альфа-титановых сплавов. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2009. 189 с.
4. Логинов Ю.Н., Соловей В.Д., Котов В.В. Уравнения пластического течения для металлов с ГПУ решеткой. Современные достижения в теории и технологии пластической обработки металлов. СПб.: СПГПУ, 2007. С.98-103.

5. Loginov Yu.N., Solovei V.D., Kotov V.V. Transformation of the yielding condition during the deformation of HCP metallic materials. Russian Metallurgy. 2010. No. 3. P. 235–240.
6. Логинов Ю.Н., Котов В.В. Моделирование процесса прессования трубной заготовки из титанового сплава в программе QFORM 2D/3D. Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. 2010. № 12. С. 36-40.
7. Логинов Ю.Н., Ершов А.А. Аналитическое исследование с использованием МКЭ прессования а – титановых сплавов и прогнозом ориентации текстуры. Технология легких сплавов. 2012. №3. С.79-87.
8. Котов В.В., Логинов Ю.Н. Программное обеспечение для обработки обратных полюсных фигур при оценке текстурного состояния титановых сплавов. Материаловедение и металлофизика легких сплавов. Екатеринбург: УрФУ. С.169-171.
9. Котов В.В., Логинов Ю.Н. Программный модуль «Kearns Parameters» для оценки анизотропии свойств текстурованных материалов с ГПУ решеткой. Свидетельство о гос.регистрации программы для ЭВМ № 20069610228. Зарегистрировано 11.01.2009.
10. Ершов А. А., Логинов Ю.Н. Сравнительный анализ патентной документации, касающейся способов обработки материалов с ГПУ – решеткой. В сб. тр. 12 международной научно-технической уральской школы - семинаре металлургов – молодых ученых. Екатеринбург: УрФУ, 2011. С. 158 – 160.
11. Логинов Ю.Н., Ершов А.А. Перспективы управления текстурой деформации в ГПУ – металлах. Образование и производство - 2010, Верхняя Салда. 2010. С.135-138.
12. Логинов Ю.Н., Ершов А.А. Способ получения трубы из технически чистого титана с радиальной текстурой. Патент РФ №2504598. Приоритет №2012107940 от 01.03.2012. МПК C22F1/18, B21B17/00, B23K103/14. Опубл. 20.01.2014. Бюл.№2.